

第九章 DDGS 的营养物含量：变异性及其测定

酒精副产品的营养物组成比较

燃料酒精由美国的干法或湿法酒精生产厂生产。玉米是这两种生产厂的主要谷物来源，因为与其它原料相比，玉米中可发酵淀粉含量高。一些酒精厂使用高粱或玉米与大麦、小麦或高粱的混合物生产酒精，采用什么样的原料取决于地理位置、成本以及这些谷物与玉米相比是否更容易获得。

虽然干法酒精生产厂生产一系列副产品（见第 11 部分），但含可溶物的玉米干酒糟 DDGS 是国际市场上最重要的副产品，应用于奶牛、肉牛、猪、家禽以及水产饲料中。美国现代酒精生产厂生产的高质量 DDGS，其营养价值高于猪 NRC (1988)、家禽 NRC (1994)、奶牛 NRC (2001) 和肉牛 NRC (1996) 发布的营养需要量。

湿法生产的副产品为玉米蛋白饲料、玉米蛋白粉和玉米胚芽粕。

饮料酒精业也生产 DDGS（占 DDGS 总产量不到 1%），但产品的颜色往往较深，与现代燃料酒精生产厂生产的 DDGS 相比，其营养物含量变异较大，可消化营养物水平较低。干啤酒糟是啤酒制造业的一种副产品，由大麦芽和其它谷物干残渣组成，通常用来提供发酵用的麦芽糖和糊精。干啤酒糟的高纤维含量限制了其在某些动物日粮中的应用。

干法、湿法和饮料酒精业的副产品在营养上互为不同，在不同类型的动物和家禽饲料中具有不同的经济价值。表 1 为高质量 DDGS 与猪 NRC (1998) DDGS、玉米蛋白饲料、玉米蛋白粉以及干啤酒糟的营养物含量比较。

与玉米蛋白饲料、玉米蛋白粉及干啤酒糟相比，高质量 DDGS 在营养上的优势是有效磷含量高。高质量 DDGS 的消化能和代谢能值显著高于玉米蛋白饲料和干啤酒糟，但低于玉米蛋白粉。DDGS 的氨基酸水平低于玉米蛋白粉，但比得上玉米蛋白饲料和干啤酒糟。

高蛋白 DDGS 和其它新型酒精副产品

几个酒精生产公司和其他研究组开发了多种改进方法以提高酒精产量，改变干法酒精生产厂最终的副产品。

讨论最为广泛的方法是用新型酶技术提高 DDGS 的粗蛋白含量，发酵前去掉玉米胚芽和玉米皮，生产 DDGS 前去掉磷。当酒精业不断发展的情况下，我们期待有多种新的和经过改进的 DDGS 及其它干法酒精副产品的出现。每种新的产品都会有其特定营养价值，同时必须经过严格的价值评定以确立其在动物日粮中的适宜用量。

影响 DDGS 营养物含量变异性和消化率的因素

营养学家希望他们所购买和使用的饲料原料的营养物含量具有一致性和可预测性。不同来源的 DDGS 之间，其营养物含量有所不同（见表 2），而且有数据显示相同生产厂不同时间生产的产品也不尽相同 (Spiehs 等, 2002)。

表1 高质量DDGS与NRC (1998) DDGS、玉米蛋白饲料、玉米蛋白粉及干啤酒糟营养物组成比较 (饲喂基础)

	高质量玉米 DDGS	DDGS NRC (1998)	玉米蛋白饲料 (1998)	玉米蛋白粉 (1998)	干啤酒NRC (1998)
干物质, %	89	93	90	90	92
粗蛋白, %	27.2	27.7	21.5	60.2	26.5
粗脂肪, %	9.5	8.4	3.0	2.9	7.3
酸性洗涤纤维, %	14.0	16.3	10.7	4.6	21.9
中性洗涤纤维, %	38.8	34.6	33.3	8.7	48.7
消化能,兆卡/千克	3953	3200	2990	4225	2100
代谢能,兆卡/千克	3580	2820	2605	3830	1960
精氨酸, %	1.06	1.13	1.04	1.93	1.53
组氨酸, %	0.68	0.69	0.67	1.28	0.53
异亮氨酸, %	1.01	1.03	0.66	2.48	1.02
亮氨酸, %	3.18	2.57	1.96	10.19	2.08
赖氨酸, %	0.74	0.62	0.63	1.02	1.08
蛋氨酸, %	0.49	0.50	0.35	1.43	0.45
胱氨酸, %	0.52	0.52	0.46	1.09	0.49
苯丙氨酸, %	1.32	1.34	0.76	3.84	1.22
苏氨酸, %	1.01	0.94	0.74	2.08	0.95
色氨酸, %	0.21	0.25	0.07	0.31	0.26
缬氨酸, %	1.34	1.30	1.01	2.79	1.26
钙, %	0.05	0.20	0.22	0.05	0.32
氯, %	无数据	0.08	0.22	0.06	0.15
镁, %	0.13	0.19	0.33	0.08	0.16
磷, %	0.79	0.77	0.83	0.44	0.56
有效磷, %	0.71	0.59	0.49	0.07	0.19
钾, %	0.84	0.84	0.98	0.18	0.08
钠, %	0.22	0.20	0.15	0.02	0.26
硫, %	0.44	0.30	0.22	0.43	0.31
铜, 毫克/千克	6	57	48	26	21
铁, 毫克/千克	121	257	460	282	250
锰, 毫克/千克	13	24	24	4	38
硒, 毫克/千克	无数据	0.39	0.27	1.00	0.70
锌, 毫克/千克	75	80	70	33	62
β胡萝卜素,毫克/千克	无数据	3.5	1.0	--	0.2
维生素E,毫克/千克	无数据	无数据	8.5	6.7	--
烟酸, 毫克/千克*	无数据	75	66	55	43
泛酸, 毫克/千克	无数据	14.0	17.0	3.5	8.0
核黄素,毫克/千克	无数据	8.6	2.4	2.2	1.4
维生素B12, 毫克/千克	无数据	0.0	0.0	0.0	0.0
生物素,毫克/千克	无数据	0.78	0.14	0.15	0.24
胆碱, 毫克/千克	无数据	2637	1518	330	1723
叶酸,毫克/千克	无数据	0.90	0.28	0.13	7.10
硫胺素,毫克/千克	无数据	2.9	2.0	0.3	0.6
维生素B6,毫克/千克	无数据	8.0	13.0	6.9	0.7

**表2 32种来源的美国DDGS部分营养物组成的平均值和范围
(以100%干物质为基础) (www.ddgs.umn.edu)**

	营养物	平均值 (变异系数) 范围
粗蛋白, %	30.9 (4.7)	28.7 - 32.9
粗脂肪, %	10.7 (16.4)	8.8 - 12.4
粗纤维, %	7.2 (18.0)	5.4 - 10.4
灰分, %	6.0 (26.6)	3.0 - 9.8
代谢能计算值 (猪), 兆卡/千克	3810 (3.5)	3504 - 4048
赖氨酸, %	0.90 (11.4)	0.61 - 1.06
精氨酸, %	1.31 (7.4)	1.01 - 1.48
色氨酸, %	0.24 (13.7)	0.18 - 0.28
蛋氨酸, %	0.65 (8.4)	0.54 - 0.76
磷, %	0.75 (19.4)	0.42 - 0.99

Olentine (1986) 列示了影响酒糟营养物组成变异的大量原料因素和加工因素 (见表3)。

表3 影响酒精副产品营养物组成的因素 (Olentine, 1986)

原料	发酵
<ul style="list-style-type: none"> ● 谷物类型 ● 谷物品种 ● 谷物质量 <ul style="list-style-type: none"> ● 土壤条件 ● 肥料 ● 气候 ● 生产和收割方法 ● 谷物组成 	<ul style="list-style-type: none"> ● 酵母质量和数量 ● 温度 ● 时间 ● 冷却 ● 搅拌 ● 酸度与生产控制 ● 蒸馏 <ul style="list-style-type: none"> ● 类型：真空或空气，连续或分批 ● 直接或间接加热 ● 蒸馏期间改变体积 ● 加工 <ul style="list-style-type: none"> ● 筛子类型：固定式、旋转式或振动式 ● 离心机的使用 ● 挤压类型 ● 蒸发器 <ul style="list-style-type: none"> ● 温度 ● 数量 ● 干燥器 <ul style="list-style-type: none"> ● 时间 ● 温度 ● 类型 ● 与谷物混合的糖浆数量
加工因素 <ul style="list-style-type: none"> ● 磨碎方法 <ul style="list-style-type: none"> ● 是否细磨 ● 时间长短 ● 蒸煮 <ul style="list-style-type: none"> ● 水量 ● 前麦芽量 ● 温度与时间 ● 连续或分批发酵 ● 冷却时间 ● 转化 <ul style="list-style-type: none"> ● 麦芽类型、数量和质量 ● 真菌淀粉酶 ● 时间和温度 ● 转化谷物的稀释 <ul style="list-style-type: none"> ● 每蒲耳氏或谷物单位的体积和加仑数 ● 谷物产品的质量 and 数量 	

为了掌握不同来源 DDGS 的差异，一些商品饲料厂需要保存所选 DDGS 来源的身份，以便在采购 DDGS 时能使用一个首选供应商名单。

影响 DDGS 营养物含量最重要的三个因素是：

- * 运到酒精厂的玉米营养物含量的变异，
- * 工厂里两种 DDGS 成分混合比例的变异和
- * 干燥时间和温度的差异。

玉米营养物含量的变异

很多情况下，DDGS 营养物含量的变异似乎是由玉米品种及其生长的地理位置不同所致。Reese 和 Lewis (1989) 报道 1987 年产于 Nebraska 的玉米粗蛋白为 7.8-10.0%，赖氨酸 0.22-0.32%，磷 0.24-0.34%（见表 4）。

表4 玉米营养物的总平均值、最小值和最大值^a

营养物	平均值	最小值	最大值
粗蛋白, %	8.6	7.8	10.0
赖氨酸, %	0.26	0.22	0.32
钙, %	0.01	0.01	0.01
磷, %	0.28	0.24	0.34
硒(毫克/公斤)	0.12	0.10	0.16
维生素E, 国际单位/千克	8.6	4.2	12.8

a以88%干物质为基础

在干法酒精加工厂，由于是从玉米籽实中去掉淀粉来生产酒精，因此 DDGS 副产品中的营养物被浓缩，玉米中营养物的变异性更容易体现在 DDGS 中。

加入酒糟中的可溶物比率的变异

在干法酒精生产厂，DDGS 是两股来自酒精生产过程的蒸汽混合生产而来的：浓缩可溶物和酒糟部分（本过程的完整说明见第 11 部分）。美国饲料控制协会 (AAFCO) 给出的 DDGS 官方定义指出，生产的 DDGS 需要至少 75% 的浓缩可溶物和湿酒糟混合。在规定的 75% 最小值以上，各酒精厂混合物中可溶物的数量可能不同。由于各厂其两种副产品混合的比例不同，所以各厂的 DDGS 中主要营养物含量有差异（见表 5），工厂之间 DDGS 两种组分混合比例的变化会影响其 DDGS 的营养物组成。

Noil 等 (2006) 对多批次 DDGS 的营养物组成和消化率进行了评定，每批次 DDGS 是由湿谷物中加入不同水平可溶物生产而来。生产 DDGS 样品过程中添加的可溶物比例大约为最大可添加量的 0, 30, 60 和 100%，相对应地每分钟往酒糟中添加 0, 55, 114 和 191 公升糖浆。降低酒糟中添加可溶物比例的同时，降低干燥器的温度。对 DDGS 样本的颜色、颗粒大小、水分、粗脂肪、粗蛋白、粗纤维、灰分、磷、赖氨酸、蛋氨酸、胱氨酸和苏氨酸进行分析。用去盲肠公鸡测定可消化氨基酸，用未经阉割的青年火鸡测定真代谢能 (TME_n)。

随着加入玉米酒糟部分的可溶物比例的增加，DDGS 的颗粒大小随之增加，同时变异也增加。如表 6 所示，增加浓缩可溶物的添加量，DDGS 的颜色加深 (L* 值减小)，黄色度降低

(b* 值下降)。增加可溶物比例，使 DDGS 中粗脂肪、灰分、TME_n (家禽)、镁、钠、磷、钾、氯和硫增加，但对粗蛋白和氨基酸含量及消化率的影响最小。

表5 酒糟DG和浓缩可溶物DS的营养物含量及其变异 (以100% 干物质为基础)

酒糟 DG	平均值	最低	最高
干物质, %	34.3	33.7	34.9
粗蛋白, %	33.8	31.3	36.0
粗脂肪, %	7.7	2.1	10.1
粗纤维, %	9.1	8.2	9.9
灰分, %	3.0	2.6	3.3
钙, %	0.04	0.03	0.05
磷, %	0.56	0.44	0.69
浓缩可溶物DS			
干物质, %	27.7	23.7	30.5
粗蛋白, %	19.5	17.9	20.8
粗脂肪, %	17.4	14.4	20.1
粗纤维, %	1.4	1.1	1.8
灰分, %	8.4	7.8	9.1
钙, %	0.09	0.06	0.12
磷, %	1.3	1.2	1.4

资料来源: Knott等 (2004)

表6 增加酒糟中浓缩可溶物添加量对DDGS颜色、营养物含量、TME_n (家禽) 和氨基酸消化率的影响

测定指标	0公升/分钟	55公升/分钟	114公升/分钟	191公升/分钟	Pearson 相关系数	P 值
颜色L*	270.3	258.4	238.9	209.8	- 0.98	0.0001
颜色a*	36.4	38.2	42.3	4	0.62	0.03
颜色b*	197.0	191.6	183.8	162.0	- 0.92	0.0001
水分, %	43.3	44.4	48.9	62.9	0.93	0.06
粗脂肪, %	36.3	41.6	42.0	47.9	0.96	0.04
粗蛋白, %	31.96	32.65	32.46	31.98	0.03	NS
粗纤维, %	9.17	7.76	10.08	6.50	- 0.51	NS
灰分, %	2.58	3.58	3.72	4.62	0.97	0.03
赖氨酸, %	1.04	1.05	1.09	1.04	0.02	NS
蛋氨酸, %	0.63	0.64	0.59	0.62	- 0.13	NS
胱氨酸, %	0.61	0.61	0.53	0.62	0.16	NS
苏氨酸, %	1.20	1.22	1.20	1.20	- 0.18	NS
磷, %	0.53	0.66	0.77	0.91	0.99	0.002
氮校正真代谢能, 兆卡/千克	2712	2897	3002	3743	0.94	0.06
赖氨酸消化率, %	78.2	76.0	69.7	75.0	- 0.90	NS
蛋氨酸消化率, %	90.9	88.6	86.3	87.3	- 0.92	NS
胱氨酸消化率, %	87.2	87.6	80.7	80.3	- 0.95	NS
苏氨酸消化率, %	85.9	83.2	80.5	77.3	- 0.99	0.02
精氨酸消化率, %	92.1	90.7	86.7	88.5	- 0.99	0.07

NS: 差异不显著。

赖氨酸消化率：干燥时间和温度

Ergul 等 (2003) 指出，在那些浅色 DDGS 来源中，赖氨酸真消化率在 59%-83% 之间，Stein 等 (2005) 报道的猪赖氨酸真消化率相似 (44% - 63%)。

一项最近的尚未公开的合作研究由南达科塔州大学、明尼苏达和得克萨大学有关猪营养研究者完成，结果显示，在 34 种不同来源的 DDGS 中，赖氨酸含量在 0.52%-1.13%，标准真回肠赖氨酸消化率在 17.7%-74.4% 之间。由于氨基酸消化率存在变异，因此需要了解不同来源 DDGS 的氨基酸消化率，此项研究在明尼苏达大学完成，试验评定了 DDGS 在用于配方和生产猪日粮之前，用几种体外法预测其氨基酸消化率的精确性。

浅色 DDGS 的赖氨酸消化率差异似乎主要由干燥时间和温度引起。干燥温度可以在 260°F -1150°F 之间，取决于各个酒精厂 (见表 7)。

表7 美国干法酒精厂生产DDGS使用的干燥器温度

工厂	干燥器 (1)温度 (华氏度)	干燥器 (2)温度 (华氏度)
A	700-800	750-800
B	1050-1100	
C	590	
D	1150	
E	445	
F	960	497
G	791	595
H	837	770
I	850	260
J	550-700	
K	875	640
L	1100	
M	1000	
N	900	930
O	950	
P	940	860-880

由于数量和加热时间长短与赖氨酸消化率高度相关 (见图 1)，因此在浅色 DDGS 来源之间，赖氨酸消化率范围很大并不奇怪。

一些干法酒精厂使用改进的方法生产酒精和 DDGS。例如，一些工厂使用蒸煮机加热发酵，酶的使用较少，而另一些工厂可能使用更多的酶，而不依赖于使用蒸煮机来促进发酵。从理论上讲，较少加热可以提高 DDGS 的氨基酸消化率，但没有进行相关研究以测定这些过程是如何影响最终的营养物组成和消化率的。

为了尽量避免过低或过高估计动物饲料中 DDGS 的价值，购买 DDGS 的顾客必须根据当前产品的可利用率信息和全部营养物浓度来选择产品，更理想的是具有一个严格的 DDGS 质量保证程序。此外，酒精厂应该建立样品分析数据库，以显示不同时间生产的副产品的一致性如何。必须确定和/或开发出能估计猪和家禽 DDGS 氨基酸消化率的精确、快速且便宜的体外测定方法。

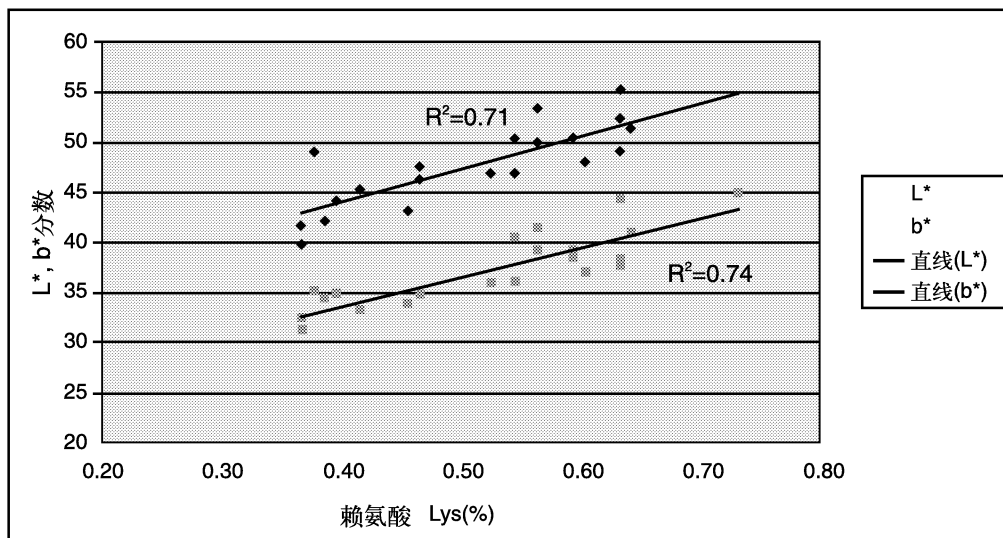


图1 DDGS的可消化赖氨酸 (%) 和颜色 (L*, b*) 的回归关系

DDGS 营养物含量和消化率的评定

在动物饲料中使用 DDGS 的最大挑战可能是了解所使用原料的营养物含量和消化率。

- 在更精确的体外法开发应用之前，用 Minolta 或 HunterLab 分光光度计测定颜色可能是预测各种 DDGS 来源的赖氨酸消化率最一致的方法。
- 用酸性洗涤不溶氮 (ADIN) 预测 DDGS 的蛋白质和氨基酸消化率，不如其预测过度加热饲料的破坏程度准确。
- 尽管一些酶分析法如 IDEA、胃蛋白酶/胰液素和赖氨酸反应法有望成为预测可消化粗蛋白和氨基酸含量的体外法，但它们的精确性尚有待提高。
- 近红外光谱术可能被开发用来校准 DDGS 的氨基酸和能量，但这些校准值的质量取决于所使用的校准方法。一般来说，这些校准值在合理范围，但低于从其它饲料原料获得的值。

颜色

DDGS 的颜色范围可以在金黄色到深褐色之间 (见图 1)。颜色的差异源于最初谷物的颜色、生产 DDGS 时加入酒糟中的浓缩可溶物数量以及所使用的干燥时间和干燥温度。

Noil 等 (2006) 报道的加入酒糟中浓缩可溶物的数量对 DDGS 颜色的影响见表 1。Ganesan 等 (2005) 报道，随可溶物添加比例的增加，DDGS 颜色的亮度 (L*) 指标随之下降 (相关系数 $r^2 = 0.76$)，而红色度 (a*) 和黄色度 (b*) 值随浓缩可溶物添加比例增加而增加 (相关系数分别为 $r^2 = 0.63$ 和 0.72)。

图 1 不同来源 DDGS 的颜色差异



表1 DDGS生产过程中，酒糟中浓缩可溶物添加量的增加对颜色、营养物含量、总代谢能（TME）n（家禽）和氨基酸消化率的影响（以100%干物质为基础）

测定指标	0公升 /分钟	0公升 /分钟	0公升 /分钟	0公升 /分钟	Pearson	P值
颜色L*	59.4	56.8	52.5	46.1	- 0.98	0.0001
颜色a*	8.0	8.4	9.3	8.8	0.62	0.03
颜色b*	43.3	42.1	40.4	35.6	- 0.92	0.0001

DDGS 样品颜色的亮度指标与总赖氨酸含量似乎呈中等程度相关，颜色较浅的样品倾向于具有更高的赖氨酸含量和赖氨酸消化率。加热量和加热时间长短与颜色和赖氨酸消化率呈高度相关，而且由于干燥器温度范围较宽，使不同来源 DDGS 的赖氨酸消化率范围也较大。较低的氨基酸消化率可能导致猪和家禽生长性能的下降。

当饲料成分接受热处理时，褐变或米拉德反应发生，导致称为蛋白黑素的高分子量化合物形成。用褐变度（以 420nm 处的吸光度测定）估计饲料成分的米拉德反应程度。赖氨酸消化率受米拉德反应程度的影响最大。DDGS 颜色的亮度和黄色度指标似乎是金黄色 DDGS 用于家禽（见图 1；Ergul 等，2003）和猪（Cromwell 等，1993；Pederson 等，2005）的可消化赖氨酸含量的合理预报者。但同样对于金黄色 DDGS，Ergul 等（2003）报道家禽的真赖氨酸消化率为 59-83%，Stein 等（2005）指出猪的真赖氨酸消化率范围类似（44-63%）。Cromwell 等（1993）评定了不同来源 DDGS 的 Hunter Lab 颜色评分与酸性洗涤不溶氮（ADIN）及猪的生长性能之间的关系（见表 2）。

Hunter 和 Minolta 色度计一直在人类食品工业中用于颜色的测定。颜色被维也纳和澳大利亚的国际食品委员会（Commission Internationale d' Eclairage）定义为亮度或 L*（0 表示深，100 表示浅），a* 为黄-红，b* 为兰-绿。这些色度计尚未被广泛在动物饲料工业用以预测饲料原料的氨基酸含量及其消化率。但由于不同来源 DDGS 的颜色变异较大，而且颜色的亮度（L*）指标和黄色度（b*）指标与赖氨酸消化率之间存在相对较高的相关关系，因此，Hunter 和 Minolta 色度计目前正在被用于估计 DDGS 的质量。

Cromwell 等 (1993) 首先证明 DDGS 的颜色与猪和鸡的生长性能相关。在该研究中, 六种不同来源的 DDGS 混合成三种生长猪日粮, 包括浅色、中等和深色 DDGS。如表 2 所示, 与饲喂含浅色 DDGS 日粮 (B 和 D) 的猪相比, 饲喂含深色 DDGS 组合日粮 (A 和 E) 猪生长较慢, 采食量和饲料转化效率较低。研究者认为, DDGS 颜色越深, 猪的生长性能越差。

表2 酸性洗涤不溶氮和颜色评分对饲喂三种混合来源DDGS猪生长性能的影响

来源	Hunter Lab颜色 ³			ADIN, %	ADG, 克 ²	ADFI, 克 ²	F/G ²
	L*	a*	b*				
A	29.0	6.5	12.7	27.1	218	1,103	5.05
E	31.1	6.1	13.1	36.9			
G	38.8	6.8	16.5	16.0	291	1,312	4.52
I	41.8	6.5	18.8	26.4			
B	53.2	4.7	21.8	8.8	390	1,416	3.61
D	51.7	7.1	24.1	2.0			

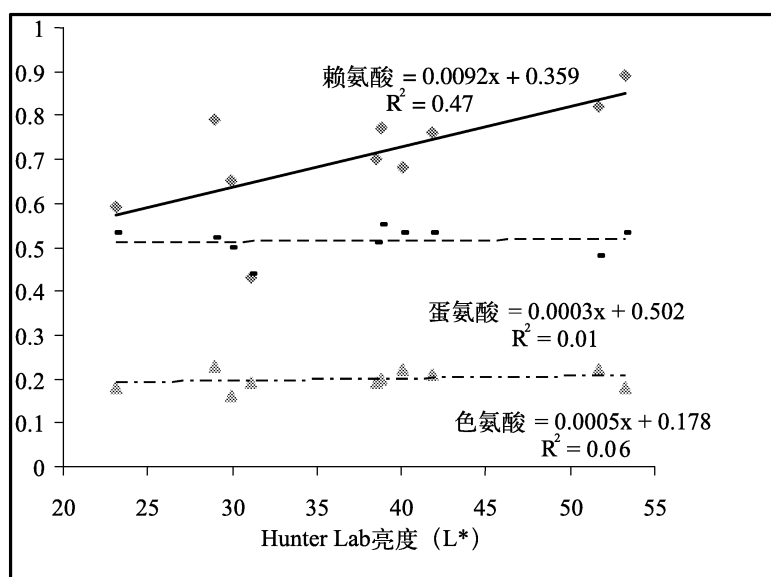
¹ 根据Cromwell等 (1993) 的表格修改。

² 日粮间的差异 $P < 0.01$ 。

³ L = 亮度 (0 = 黑; 100 = 白)。a*值和 b*值越高, 相应的红色度和黄色度越大。

图2是根据Cromwell 等 (1993) 的数据绘制的 (Urriola, 2006), 显示九种不同来源DDGS的氨基酸组成及其颜色指标值。DDGS颜色的亮度值与赖氨酸含量之间呈中等程度相关 ($r^2 = 0.47$), 颜色较浅的样品趋于较高的总赖氨酸含量。其他一些研究者指出受过热破坏的饲料原料 (深色) 与总赖氨酸含量之间类似的关系, 即过热使赖氨酸含量下降 (Finot, 2005; Friedman, 1992; van Barneveld 等, 1994a)。

图2 DDGS颜色的亮度值 (L*) 与九种不同来源DDGS的氨基酸组成的关系 (资料来源于Cromwell等, 1993)。



还有一些研究者指出, DDGS的颜色与可消化氨基酸含量有关 (Ergul 等, 2003; Fastinger 等, 2006; Batal 和 Dale, 2006)。Ergul 等 (2003) 从四个不同酒精厂收集了用现代酒精生产方法生产的 22 个 DDGS 样品, 旨在用去盲肠公鸡测定可消化氨基酸。用 Minolta 色度计测定每个样品的颜色 (L^* , a^* 和 b^*), 发现 DDGS 样品颜色的亮度和黄色度与可消化赖氨酸含量有关 (L^* 和 b^* 的相关系数分别为 $r^2 = 0.67$ 和 0.77)。Fastinger 等 (2006) 也用去盲肠公鸡测定了五种不同来源 DDGS 颜色的亮度值 (L^*) 与赖氨酸消化率的关系, 该研究报道的相关系数为 $r^2 = 0.86$ 。类似地, Batal 和 Dale (2006) 报道不同来源 DDGS 颜色亮度值与家禽可消化氨基酸含量呈高度相关 ($r^2 = 0.74$)。

酸性洗涤不溶氮 (ADIN)

康奈尔净碳水化合物蛋白模型 (The Cornell Net Carbohydrate Protein Model) 用于反刍动物营养, 将日粮中的氮分离成四部分, (Licitra 等, 1996), A 部分代表非蛋白氮, B 部分代表蛋白氮, 该部分以溶解度为基础又分为 B1、B2 和 B3, C 部分为酸性洗涤可溶氮 (ADIN)。ADIN 是酸性洗涤纤维 (ADF) 的残留物。由于 ADIN 与热破坏饲料中氮的消化率高度相关, 反刍动物营养学家多年来一直对将 ADIN 作为消化率和饲料和非饲料蛋白热破坏的指示指标很感兴趣。

但使用 ADIN 预测非饲料蛋白过热损失的准确性不如饲料蛋白。Klopfenstein 和 Britton (1987) 指出 ADIN 与 DDGS 氮消化率的相关较差 ($r = -0.27$)。Akayezu 等 (1998) 指出, 随着 ADIN 值的变化, ADIN 与蛋白质消化率的相关关系并不是固定不变的, 当 ADIN 高于总氮的 13% 时, ADIN 与瘤胃非降解蛋白 (RUP) 的肠道可利用性之间的相关是最好的。Van Soest 和 Mason (1991) 认为 ADIN 与氮消化率之间的相关较低是由于混淆了内源氮损失的影响。当数据经内源氮校正后, 相关系数提高 ($r = 0.84$)。

与反刍动物相比, 单位动物 ADIN 与氨基酸消化率之间的关系研究较少。Cromwell 等, (1993) 分析了九种来源 DDGS 的 ADIN, 发现 ADIN 在 8.8-36.9% 之间, DDGS 样本的颜色深度随 ADIN 值的增加而增加 ($r^2 = 0.62$)。他们还发现饲喂低 ADIN 含量日粮鸡的生长性能与 ADIN 高度相关 (与体增重和饲料/增重的相关系数分别为 $r^2 = 0.86$ 和 0.72)。

近红外光谱法 (NIRS)

尚未见有关使用近红外光谱法 (NIRS) 预测 DDGS 氨基酸和能量含量的可行性报道。但如果有可靠的校准方法, 酒精业和饲料工业对这种技术的应用具有极大兴趣。在一个尚未公开的研究里, 明尼苏达大学和北卡罗来纳大学的研究者合作, 评定了使用 NIRS 校准 DDGS 的氨基酸和能量的可行性。DDGS 样品 ($n=103$) 用 Spiels 等 (2002) 的方法进行化学分析后, 在北卡州立大学进行 NIRS 校准。用 Retsch 磨碎机将样品磨碎, 并通过 0.5 毫米筛孔。部分样品使用 IKAC5000 原子测热器分析总能。磨碎样品用 6500 型 NIRS 系统光谱仪进行分析, 扫描波长为 400-2500nm。光谱数据绘制成二阶平滑曲线, 去掉离群值后, 用具有交互证实功能的偏最小二乘回归方程 (PLS) 进行校准。

使用 PLS1 得到的赖氨酸、蛋氨酸、色氨酸和能量校准值见表 3。使用这种方法, 得到了单个参数的校准值。所得到的校准值是合理的, 75% 以上的变异解释了赖氨酸和能量, 苏氨

酸和蛋氨酸分别为 53% 和 66%。苏氨酸的校准值令人失望，可能是 DDGS 样品的低变异系数 (CV%=6.2%) 造成的。该方法可望成为较好的蛋氨酸校准方法，因为 DDGS 样品的变异较大，而且肉骨粉等饲料原料中蛋氨酸的校准值是很成功的。本方法对于能量而言是一种合理的校准方法，尽管 DDGS 之间的变异系数较低 (CV=1.9%)。

表3 用PLS1DE得到的校准统计值

	R ^a	Rmsepb, %	R ²	CV, %
赖氨酸	0.89	0.064	0.79	16.2
蛋氨酸	0.81	0.044	0.66	14.2
苏氨酸	0.73	0.046	0.53	6.2
能量	0.87	37	0.76	1.9

^a R 为实际值与预测值之间的相关。

^b Rmsepb为预测误差。

这些数据还用于进行 PLS2 型校准 (见表 4)。在本校准方法中，可以同时进行多个依变量的校准 (如所有氨基酸)。PLS2 是一种较快速的校准方法，采用这种校准方法，可以考虑变量之间的相互关系，因此校准值更具有生物学相关性。PLS2 的缺点是单个参数不能最优化，因为不能去掉某个特定参数的离群值。对于氨基酸，因为使用三种分析方法，所以这一点可能特别重要。如表 4 所示，用 PLS1 校正的结果比用 PLS2 校准的结果好。这种差异对于赖氨酸和苏氨酸要大得多，蛋氨酸最小。

表4 用PLS2 得到的校准统计值

	R ^a	Rmsepb, %	R ²	CV, %
苏氨酸	0.61	0.050	0.37	6.2
胱氨酸	0.74	0.035	0.55	9.4
缬氨酸	0.65	0.078	0.43	7.3
蛋氨酸	0.80	0.046	0.64	14.2
异亮氨酸	0.71	0.065	0.50	8.5
亮氨酸	0.84	0.125	0.70	6.5
苯丙氨酸	0.82	0.052	0.68	6.5
组氨酸	0.76	0.036	0.58	7.8
赖氨酸	0.73	0.089	0.53	16.2
精氨酸	0.75	0.065	0.56	8.7
色氨酸	0.60	0.017	0.36	9.1
TAA ^c	0.79	1.008	0.63	6.6

^a R 为实际值与预测值之间的相关。

^b Rmsepb为预测误差。

^c TAA = 总氨基酸

这些结果表明，用 NIRS 得到的 DDGS 氨基酸和能量校准值可以开发利用。这三个校准值的准确性取决于所使用的校准方法，PLS1 法优于 PLS2 法。一般情况下，这些校准值都在合理范围内，但低于其它饲料原料，如肉骨粉，它与 DDGS 属于不同类型的原料，而且是经过热加工的原料。这可能是由于与肉骨粉比，DDGS 的分析值是随时间而变化，而且氨基酸

含量较低，也有可能由于 NIRS 分析的样本小，不能代表氨基酸的分析值。

体外酶测定法

Novus 国际有限公司开发了一项专利酶分析法 (IDEAIM)，该方法可快速预测家禽日粮中使用的饲料原料的氨基酸消化率，包括大豆粕、家禽副产品粉和羽毛粉，对于植物蛋白和动物蛋白，分析时间分别从 2 小时至不足一天。Schasteen 等 (2005) 进行了一项研究，以评定 IDEA 法用于预测 DDGS 氨基酸消化率的适用性。他们收集了 28 个 DDGS 样品，用 IDEA 方法进行分析，同时用去盲肠公鸡填饲法测定真氨基酸消化率。结果表明，不同 DDGS 样品的真氨基酸消化率不同，在 59.1%-83.6% 之间，平均为 70.3%，这些样品的 IDEA 分析结果表明，IDEA 值与真赖氨酸消化率值之间存在强相关关系 ($r^2 = 0.88$)。这些样品的粗蛋白含量在 24.5%-30.2% 之间。所测定的这些样品的其它真氨基酸消化率值与赖氨酸没有差异 (25%)，其次是胱氨酸的变异度最大 (20%)，蛋氨酸和丙氨酸的变异度最小 (8%)。IDEA 分析结果显示，除赖氨酸外所有其它氨基酸的相关较低 ($r^2 = 0.5$)。这些结果表明，不同来源 DDGS 之间，家禽体内法测定的氨基酸消化率存在变异，IDEA 可以提供一种较好的体内家禽赖氨酸消化率预测方法，但其它氨基酸除外。

Pedersen 等 (2005) 对两种以酶为基础的体外法 (如胃蛋白酶法和胃蛋白酶/胰液法) 的有效性进行了评定，以估测生长猪对 DDGS 中粗蛋白和氨基酸的消化率。用小肠回肠末端装有 T-型瘘管的生长猪测定 14 个 DDGS 样品的粗蛋白和氨基酸的标准回肠消化率。在 pH1 条件下，用胃蛋白酶培养 DDGS 样品 16 小时后，用胃蛋白酶法估计粗蛋白消化率。胃蛋白酶/胰液法则在 pH2 条件下用胃蛋白酶培养 6 小时，然后再在 pH6.8 条件下用胰液培养 16 小时。培养期过后对样品进行过滤，滤液用于分析粗蛋白含量。体内法得到的粗蛋白消化率与用胰液法得到的消化率之间的相关较低 ($r^2 = 0.29$)，但使用胃蛋白酶/胰液法时相关程度提高 ($r^2 = 0.55$)。这些研究者认为，胃蛋白酶/胰液法可能用来预测 DDGS 中粗蛋白和氨基酸的体内消化率，但需要进一步研究提高相关系数。

活性赖氨酸法

Pahm 等 (2006) 对将活性赖氨酸法作为一种可能的预测生长猪 DDGS 赖氨酸消化率的体外法进行了评定。研究表明，DDGS 样品和回肠食糜应在 0.6 摩尔甲基异脲溶液中胍化三天，以便较好地回收氨基酸，此时活性赖氨酸方法可作为一种体外方法预测 DDGS 中赖氨酸的标准回肠消化率。

参考文献

Akayezu, J.M., J.G. Linn, S.R. Harty, and J.M. Cassady. 1998. Use of distillers grains and co-products in ruminant diets. Proceedings of the 59th Minnesota Nutrition Conference, Bloomington, MN. September 1998. Available: <http://www.ddgs.umn.edu/info-dairy.htm>. Accessed: August, 2006.

Batal, A.B., and N.M. Dale. 2006. True metabolizable energy and amino acid digestibility of distillers dried grains with solubles. J. Appl. Poult. Res. 15:89-93.

Batal, A.B. and N.M. Dale, 2004. True metabolizable energy and amino acid digestibility of

distillers dried grains with solubles. *Poultry Sci.* 83 (Suppl 1):317.

Cromwell, G.L., K.L. Herkelman, and T.S. Stahly. 1993. Physical, chemical, and nutritional characteristics of distillers dried grains with solubles for chicks and pigs. *J. Anim. Sci.* 71:679-686.

Davies, C.G.A, and T.P. Labuza. 2000. The Maillard reaction applications to confectionery products. Available: <http://courses.che.umn.edu/05fscn4111-1f/Readings%20pdf/maillard-confectionary.pdf>. Accessed: August 2006.

Ergul, T., C. Martinez Amezcua, C. Parsons, B. Walters, J. Brannon and S.L. Noll. 2003. Amino acid digestibility in corn distillers dried grains with solubles. Proceedings at the Poultry Science Association Meeting, Madison, WI. July 2003. Available: <http://www.ddgs.umn.edu/info-poultry.htm>. Accessed: August 2006.

Ergul, T., C. Martinez Amezcua, C.M. Parsons, B. Walters, J. Brannon and S. L. Noll, 2003. Amino acid digestibility in corn distillers dried grains with solubles. *Poultry Sci.* 82 (Suppl. 1): 70.

Erickson, G.E., T.J. Klopfenstein, D.C. Adams, and R.J. Rasby. 2006. Utilization of Corn Co-Products in the Beef Industry. Nebraska Corn Board and the University of Nebraska. www.nebraskacorn.org. 17 pp.

Fastinger, N.D. and D.C. Mahan. 2006. Determination of the ileal amino acid and energy digestibilities of corn distillers dried grains with solubles using grower-finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 84:1722-1728.

Ferrer E., A. Alegría Farré, G. Clemente, and C. Calvo. 2005. Fluorescence, browning index, and color in infant formulas during storage. *J. Agric. Food Chem.* 53:4911-4917.

Finot, P.A. 2005. The absorption and metabolism of modified amino acids in processed foods. *J. of AOAC Int.* 88:894:903.

Friedman, M. 1992. Dietary impact of food processing. *Annual Reviews in Nutrition.* 12:119-137.

Fu, S.X., M. Johnston, R.W. Fent, D.C. Kendall, J.L. Usry, R.D. Boyd, and G.L. Allee. 2004. Effect of corn distiller's dried grains with solubles (DDGS) on growth, carcass characteristics, and fecal volume in growing finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 82 (Suppl. 2):50.

Ganesan, V., K.A. Rosentrater, and K. Muthukumarappan. 2006. Effect of moisture content and soluble levels on the physical and chemical properties of DDGS. ASAE Annual International Meeting, Tampa, FL, July 17-20.

Ham, G.A., R.A. Stock, T.J. Klopfenstein, E.M. Larson, D.H. Shain, and R.P. Huffman. 1994. Wet corn distillers co-products compared with dried distillers grains with solubles as a source of protein and energy for ruminants. *J. Anim. Sci.* 72:3246.

Hastad, C.W., M.D. Tokach, J.L. Nelssen, R.D. Goodband, S.S. Dritz, J.M. DeRouchey, C.N. Groesbeck, K.R. Lawrence, N.A. Lenehan, and T.P. Keegan. 2004. Energy value of dried distillers grains with solubles in swine diets. *J. Anim. Sci.* 82 (Suppl. 2):50.

Klopfenstein, T. and R. Britton. 1987. Heat damage - Real or Artifact. In: *Dist. Feed Conf. Proceedings.* 42:84-86.

Knott, J., G.C. Shurson, and J. Goihl. 2004. Effects of the nutrient variability of distiller' s solubles and grains within ethanol plants and the amount of distiller' s solubles blended with distiller' s grains on fat, protein and phosphorus content of DDGS. Available: <http://www.ddgs.umn.edu/articles-proc-storage-quality/2004-Knott-%20Nutrient%20variability.pdf>. Accessed: June, 2006.

Licitra G., T.M. Hernandez, and P.J. van Soest. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 57:349-358.

Lumpkins, B., A. Batal and N. Dale, 2004. Evaluation of distillers dried grains with solubles as a feed ingredient for broilers. *Poultry Sci.* 83:1891-1896.

Lumpkins, B.S. and A.B. Batal. 2005. The bioavailability of lysine and phosphorus in distillers dried grains with solubles. *Poultry Science* 84:581-586.

National Research Council. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*, 9th Revised Edition, National Academy Press, Washington, DC.

National Research Council. 1996. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*, 7th Revised Edition, National Academy Press, Washington, DC.

National Research Council. 1998. *Nutrient Requirements of Swine*, 10th Revised Edition, National Academy Press, Washington, DC.

National Research Council. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th Rev. Ed. National Academy of Sci., Washington, DC.

Noll, S., C. Abe, and J. Brannon. 2003. Nutrient composition of corn distillers dried grains with solubles. *Poultry Science* 82(Supplement):71.

Noll, S. 2004. DDGS in poultry diets: Does it make sense. Midwest Poultry Federation Pre-Show Nutrition Conference, River Centre, St. Paul, MN. March 16, 2004.

Noll, S. L., J. Brannon, J. L. Kalbfleisch, and K. D. Roberson, 2005. Metabolizable energy value for corn distillers dried grains with solubles in turkey diets. *Poultry Sci.* 84 (Suppl. 1):

Noll, S., C. Parsons, and B. Walters. 2006. What's new since September 2005 in feeding distillers co-products to poultry. *Proc. 67th Minnesota Nutrition Conference & University of Minnesota Research Update Session: Livestock Production in the New Millennium.* pp. 149-154.

Olentine, C. 1986. Ingredient profile: Distillers feeds. *Proc. Distillers Feed Conf.* 41:13-24.

Pahm, A.A., C. Pedersen, and H.H. Stein. 2006. Evaluation of reactive lysine (homoarginine) as an in vitro procedure to predict lysine digestibility of distillers dried grains with solubles by growing pigs. *J. Anim. Sci. (Suppl. 2)* 84:90.

Pederson, C., A. Pahm, and H.H. Stein. 2005. Effectiveness of in vitro procedures to estimate CP and amino acid digestibility coefficients in dried distillers grain with solubles by growing pigs. *J. Anim. Sci. (Suppl. 2)* 83:39.

Powers, W.J., H.H. Van Horn, B. Harris, Jr., and C.J. Wilcox. 1995. Effects of variable sources of distillers grains plus solubles on milk yield and composition. *J. Dairy Sci.* 78:388-396.

Reese, D.E. and A.J. Lewis. 1989. Nutrient content of Nebraska corn. *Nebraska Cooperative Extension Service EC 89-219*, pp. 5-7.

Roberson, K.D., J.L. Kalbfleisch, W. Pan and R.A. Charbeneau, 2005. Effect of corn distiller's dried grains with solubles at various levels on performance of laying hens and yolk color. *Intl J. Poultry Sci.* 4(2):44-51.

Schasteen, C., J. Wu, and C. Parsons. 2005. Enzyme-based protein digestibility (IDEA™) assay accurately predicts poultry in vivo lysine digestibility for distiller's dried grain and solubles (DDGS). *J. Anim. Sci. (Suppl. 2)* 83:39.

Schingoethe, D.J. 2004. Corn Co-products for Cattle. Proceedings from 40th Eastern Nutrition Conference, May 11-12, Ottawa, ON, Canada. pp 30-47.

Shurson, G.C., C. Santos, J. Aguirre, and S. Hernández. 2003. Effects of Feeding Babcock B300 Laying Hens Conventional Sanfandila Layer Diets Compared to Diets Containing 10% Norgold DDGS on Performance and Egg Quality. A commercial field trial sponsored by the Minnesota Corn Research and Promotion Council and the Minnesota Department of Agriculture.

Spiehs, M.J., G.C. Shurson, and M.H. Whitney. 1999. Energy, nitrogen, and phosphorus digestibility of growing and finishing swine diets containing distiller's dried grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 77:188 (Suppl. 1).

Spiehs, M.J., M.H. Whitney, and G.C. Shurson. 2002. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. *J. Anim. Sci.* 80:2639.

Stein H.H., M.L. Gibson, C. Pedersen, and M.G. Boersma. 2006. Amino acid and energy digestibility in ten samples of distillers dried grain with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 84: 853-860.

Stein H.H., A.A. Pahm, and C. Pedersen. 2005. Methods to determine amino acid digestibility in corn by-products. In: Proceedings of the 66th Minnesota Nutrition Conference. St. Paul. MN. USA. pp. 35-49.

Tjardes, J. and C. Wright. 2002. Feeding corn distiller's co-products to beef cattle. SDSU Extension Extra. ExEx 2036, August 2002. Dept. of Animal and Range Sciences. pp. 1-5.

Urriola, P.E. 2006. Distillers dried grains with solubles digestibility, in vivo estimation and in vitro prediction. M.S. Thesis, University of Minnesota.

Urriola, P.E., M.H. Whitney, N.S. Muley, and G.C. Shurson. 2006. Evaluation of regional differences in nutrient composition and physical characteristics among six U.S. soybean meal sources. *J. Anim. Sci. (Suppl. 2)* 84:24.

van Barneveld, R.J., E.S. Batterham, and B.W. Norton. 1994. A comparison of ileal and fecal digestibilities of amino acids in raw and heat-treated field peas (*Pisum sativum* cultivar Dundale). *Br. J. Nutr.* 72:221-241.

van Soest, P.J. and V.C. Mason. 1991. The influence of the Maillard reaction upon the nutritive value of fibrous feeds. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 32:45-53.

Whitney, M.H., M.J. Spiehs, and G.C. Shurson. 2001. Availability of phosphorus in distiller's dried grains with solubles for growing swine. *J. Anim. Sci.* 79:108 (Suppl. 1).